

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-327276  
(P2002-327276A)

(43) 公開日 平成14年11月15日 (2002. 11. 15)

(51) IntCl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト <sup>*</sup> (参考)
C 2 3 C 16/509		C 2 3 C 16/509	4 K 0 3 0
H 0 1 L 21/31		H 0 1 L 21/31	C 5 F 0 4 5
31/04		31/04	V 5 F 0 5 1

審査請求 有 請求項の数19 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-133830(P2001-133830)

(22) 出願日 平成13年5月1日 (2001. 5. 1)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 川村 啓介

長崎市深堀町五丁目717番1号 三菱重工業株式会社長崎研究所内

(72) 発明者 高野 暁巳

長崎市深堀町五丁目717番1号 三菱重工業株式会社長崎研究所内

(74) 代理人 100083024

弁理士 高橋 昌久 (外1名)

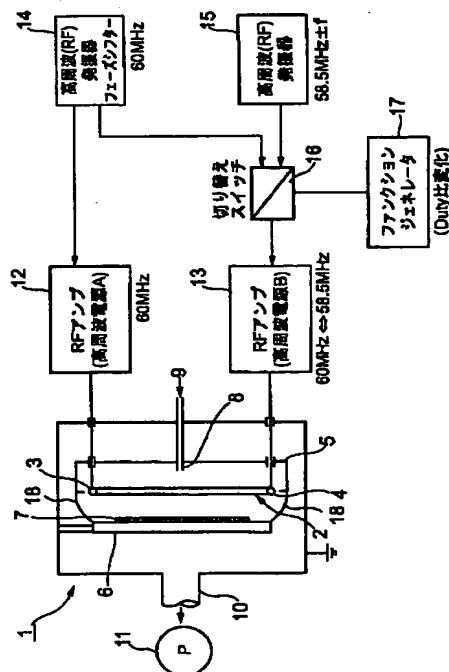
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 高周波 (VHF) を利用するプラズマ化学蒸着装置において、大面积でプラズマ発生状況が均一となるようなプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法及び装置の提供。

【解決手段】 プラズマ化学蒸着装置の放電電極の両端部にそれぞれ第1と第2の給電部を設け、その第1と第2の給電部に同一周波数の高周波を給電するサイクルと、異なった周波数の高周波を給電するサイクルを交互に実施し、各サイクルにおける異なる発生状況のプラズマにより、時間平均でみたとき、プラズマの発生状況が大面积で均一となるようにした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマ化学蒸着装置の放電電極へ高周波を給電してプラズマを発生させるようにしたプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法であって、

前記放電電極両端部に第1と第2の給電部を設け、該第1と第2の給電部に同一周波数の高周波を給電する第1のサイクルと、異なった周波数の高周波を給電する第2のサイクルを交互に実施し、各サイクルにおける異なる発生状況のプラズマにより、時間平均でみたとき、プラズマの発生状況が面積で均一となるようにしたことを特徴とするプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法。

【請求項2】 前記第2のサイクルにおける一つの周波数を時間的に変動させ、プラズマ発生状況を意図的に変化させて時間平均でみたとき、プラズマの発生状況が面積で均一となるようにしたことを特徴とする請求項1に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法。

【請求項3】 前記第2のサイクルにおける一つの周波数は、前記第1のサイクルにおける高周波の周波数と同じにしたことを特徴とする請求項1、または2に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法。

【請求項4】 前記第1と第2のサイクルは、1 Hz から10 MHz のサイクルで行うことを特徴とする請求項1、または2に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法。

【請求項5】 前記第1のサイクルと第2のサイクルの時間比を、用いるガスの圧力、ガスの種類で変化させることを特徴とする請求項1、または2に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法。

【請求項6】 前記第1のサイクルにおける第1、または第2の給電部へ給電するどちらかの周波数の高周波を位相変調し、他方の給電部に給電する高周波とは位相をずらせてプラズマの発生状況を変化させ、時間平均でみたとき、プラズマの発生状況が面積で均一となるようにしたことを特徴とする請求項1、または2に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法。

【請求項7】 前記放電電極の給電部へ直流バイアスを印加し、発生するプラズマ密度を面積で均一化させたことを特徴とする請求項1、または2に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法。

【請求項8】 前記第1と第2の給電部への給電ケーブル軸方向を放電電極軸方向と一致させ、電流リターン距離を最小化して給電部での電力ロスを低減し、プラズマ領域の拡大を図ったことを特徴とする請求項1、または

2に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法。

【請求項9】 前記プラズマ化学蒸着装置内に、プラズマ化学蒸着による製膜の速度、及びプラズマ化学蒸着装置のセルフクリーニング速度等の条件を満たす範囲でプラズマが均一になりやすいガスを入れたことを特徴とする請求項1、または2に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法。

【請求項10】 前記ガスは、 $N_2$ 、 $Ar$ 、 $Kr$ 、 $Xe$ 等の不活性ガスであることを特徴とする請求項9に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法。

【請求項11】 前記請求項4乃至10に記載のプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法を2つ以上組み合わせてなることを特徴とするプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化方法。

【請求項12】 放電電極に設けた第1と第2の給電部に高周波を給電してプラズマを発生させるプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化装置であって、

第1の周波数の高周波を発振する第1の発振器と、第2の周波数の高周波を発振する第2の発振器と、前記第1の発振器からの高周波を受けて前記放電電極の第1の給電部に第1の周波数の高周波を給電する高周波電源Aと、前記第1と第2の発振器からの高周波を受けて適宜なサイクルで切り替えて出力する周波数切り替え手段と、該周波数切り替え手段からの出力を受けて前記放電電極の第2の給電部に給電する高周波電源Bとからなり、

前記高周波電源Bからの第2の給電部への給電周波数を前記周波数切り替え手段で切り替えることにより、各切り替えサイクルの周波数差でプラズマ発生状況を異ならせ、時間平均でみたとき、プラズマの発生状況が面積で均一となるようにしたことを特徴とするプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化装置。

【請求項13】 前記第2の発振器は、発振周波数を可変に構成したことを特徴とする請求項12に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化装置。

【請求項14】 前記周波数切り替え手段が切り替える第1と第2の周波数の時間比を、用いるガスの圧力、ガスの種類で変化させる手段を有することを特徴とする請求項12、または13に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化装置。

【請求項15】 前記第1の発振器から前記高周波電源A、または前記周波数切り替え手段へのどちらかに供給する高周波の位相を変調する位相変調手段を有することを特徴とする請求項12、または13に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化

装置。

【請求項16】 前記放電電極の給電部へ直流バイアスを印加する手段を設けたことを特徴とする請求項12、または13に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化装置。

【請求項17】 前記放電電極の給電部への給電用ケーブルの軸方向を、放電電極軸方向と一致させて取付けたことを特徴とする請求項12、または13に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化装置。

【請求項18】 前記第1と第2の給電部を放電電極の両端部に設けたことを特徴とする請求項11、または12に記載したプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化装置。

【請求項19】 前記請求項14乃至18に記載のプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化装置を2つ以上組み合わせることを特徴とするプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面积均一化装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、太陽電池や薄膜トランジスタなどに用いられるアモルファスシリコン、微結晶シリコン、多結晶薄膜シリコン、窒化シリコンなどの半導体の製膜や半導体膜のエッチング、及び、これら製膜によってチェンバ内に堆積したアモルファスシリコン(a-Si)のNF<sub>3</sub>ガスのプラズマによるフッ素ラジカルクリーニング(セルフクリーニング)などに用いられるプラズマ化学蒸着装置(Plasma Chemical Vapour Deposition)における、高周波プラズマの大面积均一化方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】太陽電池や薄膜トランジスタなどに用いられるアモルファスシリコン(以下a-Siと称する)、微結晶シリコン、多結晶薄膜シリコン、窒化シリコンなどの半導体の製膜や半導体膜のエッチングを行ったり、これら製膜によってチェンバ内に堆積したシリコンをNF<sub>3</sub>ガスでセルフクリーニングするために用いられるプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマ発生装置には、平行平板型電極を用いたものと、ラダー型電極を用いたものの2種類がある。

【0003】図6は平行平板型電極を用いた装置の一構成例で、プラズマ化学蒸着装置1内に基板加熱支持手段6を設置して電氣的に接地し、この基板加熱支持手段6と対向させてたとえば20mm離れた位置に平板電極60を設置する。そして平板電極60に、外部の高周波電源61をインピーダンス整合器62、および同軸ケーブル63を介して接続し、さらに基板加熱支持手段6と対向する面と反対側に不要なプラズマが生成しないように

アースシールド5を設置する。

【0004】そして、たとえば200℃に設定した基板加熱支持手段6上にa-Si薄膜を製膜する基板7を設置し、ガス導入管64からシラン(SiH<sub>4</sub>)ガスをたとえば流速50sccmで導入し、真空排気管65に接続した図示しない真空ポンプ系の排気速度を調整することで、プラズマ化学蒸着装置1内の圧力をたとえば100mTorrに調節する。そして、高周波電力が効率良くプラズマ発生部に供給されるようにインピーダンス整合器62を調整して高周波電源61から高周波電力を供給すると、基板7と平板電極60の間にプラズマ66が発生し、このプラズマ66の中でSiH<sub>4</sub>が分解して基板7表面にa-Si膜が製膜される。そのため、たとえば10分間程度この状態で製膜を行うことにより、必要な厚さのa-Si膜が製膜される。

【0005】図7はラダー型電極70を用いた装置の一構成例を示し、図8は、ラダー型電極70の構造がよく分かるように図7のA方向から描いた図である。ラダー型電極については、たとえば特開平4-236781号公報に詳細に述べられ、またラダー型電極を進展させた電極形状として、複数の電極棒を平行に並べた電極群を2つ直行させて配置させた網目状の電極を用いた構造が特開平11-111622号公報に報告されている。

【0006】この図7における高周波プラズマ発生装置においては、プラズマ化学蒸着装置1内に基板加熱支持手段6(図8には図示していない)を設置して電氣的に接地し、基板加熱支持手段6と対向してたとえば20mm離れた位置にラダー型電極70を設置する。ラダー型電極70には、外部の高周波電源61をインピーダンス整合器62および同軸ケーブル63を介して接続し、基板加熱支持手段6と対向する面と反対側に不要なプラズマが生成しないようにアースシールド5が設置してある。

【0007】そして、たとえば200℃に設定した基板加熱支持手段6上にa-Si膜を製膜する基板7を設置し、ガス供給管からシラン(SiH<sub>4</sub>)ガスをたとえば流速50sccmで導入する。そしてプラズマ化学蒸着装置1内の圧力を、図示しない真空排気管に接続した真空ポンプ系の排気速度でたとえば100mTorrに調整する。この状態で高周波電力をラダー型電極70に供給すると、基板7とラダー型電極70の間にプラズマ71が発生するから、高周波電力が効率良くプラズマ71の発生部に供給されるようにインピーダンス整合器5を調整する。するとプラズマ71中ではシラン(SiH<sub>4</sub>)が分解し、基板7にa-Si膜が製膜されるから、たとえば10分程度この状態で製膜を行うことにより、必要な厚さのa-Si膜が製膜される。

【0008】この図7の構成例は図6の構成例と比較し、第一に電極として平板電極を用いず円形断面の電極棒を梯子型に組んだラダー型と呼ばれる電極を用いて

いるため、電極棒の間を原料のシラン ( $\text{SiH}_4$ ) ガスが自由に流れて原料供給が均一に行われ、第二に給電を電極の1箇所に行うのではなく、72で示した複数(ここでは4点)箇所で行うことで、プラズマが均一に発生できるようにしている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】このようにプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマ発生装置は構成されているが、現在、上記技術を用いて作製される太陽電池用薄膜半導体、フラットパネルディスプレイ用薄膜トランジスタなどは、大面積(例えば $1.5 \times 1.2 \text{ m}$ 程度)・高速製膜による低コスト化、および、低欠陥密度、高結晶化率などの高品質化が求められ、また、このような大面積の製膜によってチェンバ内に堆積した $\text{a-Si}$ の $\text{NF}_3$ ガスによるセルフクリーニングも、製膜と同様大面積・高速化が要求されている。

【0010】そしてこれら要求を満たす新しいプラズマ生成方法として、高周波電源の高高周波化( $30 \sim 80 \text{ MHz}$ )がある。前記高高周波化により製膜速度の高速化と高品質化が両立されることが、たとえば文献Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 424, pp. 9, 1997に記されている。特に、 $\text{a-Si}$ に代る新しい薄膜として注目されている微結晶 $\text{Si}$ 薄膜の高速高品質製膜に、この高高周波が適していることが最近分かってきている。

【0011】ところがこの高高周波による製膜は、均一大面積製膜が難しいという欠点がある。これは、高高周波の波長が電極サイズと同程度のオーダーであることから、電極端などで生じる反射波を主因とする電極上定在波の発生、浮遊インダクタンス・キャパシタンスの存在による電圧分布への影響、プラズマと高周波との相互干渉などでプラズマが不均一となり、結果、製膜が不均一になるためである。そのため、製膜における膜厚分布が、中央部において薄く不均一になるという結果が生じる。また、セルフクリーニングに用いる $\text{NF}_3$ 、プラズマは、 $\text{NF}_3$ ガスが負性ガス(電子を付着しやすい性質)であるため、プラズマ自体が非常に不安定であると共に、ガス流れ(下流側にプラズマ発生)や電極間隔の相違によって分布が不均一になる。

【0012】このうち、平行平板電極を用いた場合の代表例として示した図6の構成例においては、電極サイズが $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ を越え、または、周波数が $30 \text{ MHz}$ を越えると、上記定在波の影響が顕著となり、半導体製膜上最低限必要な製膜膜厚均一性 $\pm 10\%$ の達成が困難になる。

【0013】一方、ラダー型電極を用いた場合の代表例としてあげた図7、図8は、ラダー型電極を用いていることに加え、1点給電では顕著に生じてしまう定在波を、4点に給電することにより低減したことを特徴とするものである。しかしながら、この場合でも、電極サイ

ズが $30 \text{ cm}$ を越え、または、周波数が $80 \text{ MHz}$ を越えると均一な製膜の実現が難しくなってくる。

【0014】以上のような問題は学会でも注目され、これまでに例えば文献Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 377, pp. 27, 1995に記されているように、平行平板の給電側と反対側にロスのないリアクタンス(コイル)を接続することが提案されている。これは、定在波の電極端からの反射条件を変えることで、定在波の波形の中で分布が比較的平らな部分、たとえば正弦波の極大付近を電極上に発生させて、電極に生じる電圧分布を少なくするものである。しかしながら、この方法は定在波を根本から無くすのではなく、正弦波のうち平らな部分が電極上に発生するようにするだけであるため、均一部分が得られるのは波長の $1/8$ 程度までであり、それを越える範囲の均一化は原理的に不可能である。

【0015】また、大面積で均一なプラズマを発生するための技術として、特開2000-3878号公報、特開2000-58465号公報、特開2000-323297号公報、特開2001-7028号公報などに示された技術があるが、これらは最大 $80 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$ 程度の電極に対応しているだけであり、本発明が目指しているような $1.5 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ というような大面積には対応できない。そのため、プラズマ化学蒸着装置において高高周波を用いてプラズマを発生させる場合、従来の技術では、 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ を越えるような非常に大きな基板を対象として、大面積で均一なプラズマを発生し、均一処理を行うことはできなかった。

【0016】なお、本発明の類似技術として、2つの異なる高周波を2つの放電電極にそれぞれ供給する技術があり、たとえば、M. Noisan, J. Pelletier, ed., "Microwave Excited Plasmas", Technology, 4, second impression, pp. 401, Elsevier Science B. V. 1999に詳述されている。

【0017】しかし、この技術の目的は、1つの高周波をプラズマ生成のために、他方の高周波を絶縁性基板の表面バイアス電圧制御のために用い、基板への活性イオン等の流入量、および入射エネルギーを制御することであり、本発明のように $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ を越えるような非常に大きな基板を対象として大面積において均一なプラズマを発生し、均一処理を行う目的とは全く異なるものである。

【0018】本発明は上記問題点を解決するためになされたものであって、高高周波(VHF)を利用するプラズマ化学蒸着装置において、大面積でプラズマ発生状況が均一となるようなプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面積均一化方法及び装置を提供することが課題である。

【0019】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため本発明においては、放電電極の両端部にそれぞれ第1と第2の給電部を設け、その第1と第2の給電部に同一周波数の高周波を給電するサイクルと、異なった周波数の高周波を給電するサイクルを交互に実施し、各サイクルで発生する異なる発生状況のプラズマにより、時間平均でみたとき、プラズマの発生状況が大面積で均一となるようにした。

【0020】そして、請求項1は方法発明であって、プラズマ化学蒸着装置の放電電極へ高周波を給電してプラズマを発生させるようにしたプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面積均一化方法であって、前記放電電極両端部に第1と第2の給電部を設け、該第1と第2の給電部に同一周波数の高周波を給電する第1のサイクルと、異なった周波数の高周波を給電する第2のサイクルを交互に実施し、各サイクルにおける異なる発生状況のプラズマにより、時間平均でみたとき、プラズマの発生状況が大面積で均一となるようにしたことを特徴とする。

【0021】そして、この方法発明を実施するための装置発明である請求項12に記載された発明は、放電電極に設けた第1と第2の給電部に高周波を給電してプラズマを発生させるプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面積均一化装置であって、第1の周波数の高周波を発振する第1の発振器と、第2の周波数の高周波を発振する第2の発振器と、前記第1の発振器からの高周波を受けて前記放電電極の第1の給電部に第1の周波数の高周波を給電する高周波電源Aと、前記第1と第2の発振器からの高周波を受けて適宜なサイクルで切り替えて出力する周波数切り替え手段と、該周波数切り替え手段からの出力を受けて前記放電電極の第2の給電部に給電する高周波電源Bとからなり、前記高周波電源Bからの第2の給電部への給電周波数を前記周波数切り替え手段で切り替えることにより、各切り替えサイクルの周波数差でプラズマ発生状況を異ならせ、時間平均でみたとき、プラズマの発生状況が大面積で均一となるようにしたことを特徴とする。

【0022】このように、同一周波数の高周波を給電するサイクルと、異なった周波数の高周波を給電するサイクルを交互に実施することにより、同一周波数の高周波を放電電極に給電したときは電極の両側から来た波が中央部で共鳴してプラズマ密度が高くなり、一方、異なった周波数の電力を給電したときは電極の両側から来た波が中央部でお互いに打ち消しあってプラズマ密度が低くなるから、このサイクルを交互に実施すると時間平均でみたとき、プラズマの発生状況、すなわち放電電極上の定在波分布が大面積で均一となり、大面積基板における膜厚分布均一化とセルフクリーニングにおけるプラズマ分布の均一化が実現できる。

【0023】そして請求項2に記載した方法発明、及びこの方法発明を実施するための請求項13に記載した発明は、前記第2のサイクルにおける一つの周波数を時間的に変動させ、プラズマ発生状況を意図的に変化させて時間平均でみたとき、プラズマの発生状況が大面積で均一となるようにしたこと、及び、前記第2の発振器は、発振周波数を可変に構成したことを特徴とする。

【0024】このように、異なった周波数の高周波を給電する前記第2のサイクルで片方の周波数を時間的に変動させると、その変動に応じてプラズマ発生状況が変化するから、プラズマ密度をさらに平均化することができる。

【0025】そしてこの異なった周波数のサイクルにおける一つの周波数は、請求項3に記載したように、前記第2のサイクルにおける一つの周波数は、前記第1のサイクルにおける高周波の周波数と同じとし、またこの第1と第2のサイクルは、請求項4に記載したように、前記第1と第2のサイクルは、1Hzから10MHzのサイクルで行うことが好ましい。

【0026】また第1のサイクルと第2のサイクルの時間比は、請求項5、及び請求項14に記載したように、前記第1のサイクルと第2のサイクルの時間比を、用いるガスの圧力、ガスの種類で変化させること、及び、前記周波数切り替え手段が切り替える第1と第2の周波数の時間比を、用いるガスの圧力、ガスの種類で変化させる手段を有することを特徴とする。

【0027】このように、第1のサイクルと第2のサイクルの時間比を用いるガスの圧力、ガスの種類で変化させることにより、例えばガス条件によっては同じデュティ比であってもプラズマの発生状況が異なってくることがあるが、このような場合でも何らハードをいじることなく対応することができ、さらにプラズマ密度を均一化することが可能となる。

【0028】また、請求項6、及び請求項15に記載した発明は、前記第1のサイクルにおける第1、または第2の給電部へ給電するどちらかの周波数の高周波を位相変調し、他方の給電部に給電する高周波とは位相をずらせてプラズマの発生状況を変化させ、時間平均でみたとき、プラズマの発生状況が大面積で均一となるようにしたこと、及び、前記第1の発振器から前記高周波電源A、または前記周波数切り替え手段へのどちらかに供給する高周波の位相を変調する位相変調手段を有することを特徴とする。

【0029】このように、同一周波数の高周波を給電部に給電するとき、どちらかの高周波の位相を他方とずらすことにより、同一周波数を放電電極給電したときにできた放電電極中央部のプラズマ密度の高い部分を移動させることができ、時間平均で均一化させることができる。

【0030】そして請求項7、及び請求項16に記載し

た発明は、前記放電電極の給電部へ直流バイアスを印加し、発生するプラズマ密度を大面積で均一化させたこと、及び、前記放電電極の給電部へ直流バイアスを印加する手段を設けたことを特徴とする。

【0031】このように放電電極の給電部へ直流バイアスを印加することにより、放電電極のシースキャパシタンスを減少させることができ、定在波波長を増加させてプラズマ密度を平均化させることができる。

【0032】そして請求項8、及び請求項17に記載した発明は、前記第1と第2の給電部への給電ケーブル軸方向を放電電極軸方向と一致させ、電流リターン距離を最小化して給電部での電力ロスを低減し、プラズマ領域の拡大を図ったこと、及び、前記放電電極の給電部への給電用ケーブルの軸方向を、放電電極軸方向と一致させて取付けたことを特徴とする。

【0033】このように給電部への給電ケーブル軸方向を放電電極軸方向と一致させることにより、給電パワーがスムーズに放電電極に入ってゆき、電流リターン距離を最小化し、給電部での電力ロスを低減してプラズマ領域の拡大を図ることができる。

【0034】そして請求項9に記載した発明は、前記プラズマ化学蒸着装置内に、プラズマ化学蒸着による製膜の速度、及びプラズマ化学蒸着装置のセルフクリーニング速度等の条件を満たす範囲でプラズマが均一になりやすいガスを入れたことを特徴とする。

【0035】このようにプラズマが均一になりやすいガスを入れることで、さらにプラズマ発生状況が均一になり、このガスは請求項10に記載したように、 $N_2$ 、 $Ar$ 、 $Kr$ 、 $Xe$ 等の不活性ガスであることが好ましい。

【0036】

【発明の実施の形態】本発明においては、例えば電極サイズ $1.5m \times 1.2m$ 、ガス圧 $12 \sim 20Pa$  ( $90 \sim 150mTorr$ )、高周波電源周波数 $60MHz$ 級のプラズマ化学蒸着装置を目指し、上記課題を解決するための手段に記載したように、プラズマ化学蒸着装置における放電電極の両端部にそれぞれ第1と第2の給電部を設け、その給電部に同一周波数の高周波を給電するサイクルと、異なった周波数の高周波を給電するサイクルを交互に実施し、各サイクルにおける異なる発生状況のプラズマにより、時間平均でみたとき、プラズマの発生状況、すなわち放電電極上の定在波分布が大面積で均一となるようにした。そしてさらに本発明においては、プラズマ発生状況を時間平均で均一化するため、次の6つのことを実施できるようにしたことを特徴とするものである。

- 異なる周波数の発振周波数を、時間的に変動させる。
- ガス圧やガス種などのガス条件に応じ、第1と第2の給電部へ同一周波数を給電する時間と、異なった周波数を給電する時間の比、すなわちデューティ比を変化さ

せる。

3. 第1と第2の給電部へ同一周波数を給電する際、どちらかの給電部に給電する高周波の位相を他方の給電部に給電する高周波の位相とずらす。

4. 放電電極の給電部に、DCバイアス電圧を印加する。

5. 給電用ケーブルの出口における軸方向を、第1と第2の給電部を結ぶ方向（軸方向）と同一とする。

6. 製膜速度、セルフクリーニング速度等の条件を満たす範囲で均一なプラズマを発生しやすい $N_2$ 、 $Ar$ 、 $Kr$ 、 $Xe$ 等の不活性ガスを適正比注入する。

【0037】以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を例示的に詳しく説明する。但し、この実施の形態に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対配置などは、特に特定の記載がない限りはこの発明の範囲をそののみに限定する趣旨ではなく、単なる説明例に過ぎない。

【0038】最初に本発明のプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面積均一化装置について説明し、その後高周波プラズマの大面積均一化方法について説明する。図1は、本発明になるプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面積均一化装置の一実施例概略ブロック図、図2は放電電極をラダー型で構成した場合を説明するための図、図3は給電用ケーブルの出口における軸方向を、第1と第2の給電部を結ぶ方向（軸方向）と同一とする場合の構成図、図4は放電電極の給電部に、同一周波数の高周波と異なった周波数の高周波を $0:10$ から $9:1$ までの10種の比率で給電したときのプラズマ発生状況の説明図、図5は給電部へ同一周波数を給電する際、一方の高周波の位相を他方の位相とずらした場合の説明図である。

【0039】図1において、1は内部が気密に作られたプラズマ化学蒸着装置、2は放電電極、3、4は放電電極2へ高周波を給電するための第1と第2の給電部、5は不要なプラズマが生成しないように設けたアースシールド、6は放電電極2から例えば $20 \sim 34mm$ 程度離して設置し、基板7を保持、加熱するための図示していない機構と加熱するためのヒータを内蔵している加熱支持手段、8は図示しないガス供給源に連通し、例えば製膜のためのシラン ( $SiH_4$ ) ガスやセルフクリーニングのためのNF<sub>3</sub>ガスなどの反応ガス9を導入するためのガス導入管、10は排気管、11はプラズマ化学蒸着装置1内の内圧を $1 \times 10^{-6} Torr$ 程度まで真空排気可能な真空ポンプ、12、13は第1と第2の高周波電源A、Bを構成するRFアンプ、14は例えば $60MHz$ の高周波 (RF) を発振して高周波電源 (RFアンプ) Aと切り替えスイッチ16に送ると共に、どちらかの高周波を位相変調することができるフェーズシフターを有した第1の高周波 (RF) 発振器、15は例えば $58.5MHz$ の高周波 (RF) を発振すると共に、この

周波数を例えば58.5MHzから59.9MHz、あるいは60.1MHzから61.5MHzのように変動可能に構成した第2の高周波(RF)発振器、16は第1と第2の高周波発振器14、15からの高周波を受け、これを切り替えて高周波電源B13に供給する切り替えスイッチ、17は、切り替えスイッチ16による第1と第2の高周波発振器14、15からの高周波の切り替えに際し、これらの高周波の時間割合、すなわちデューティ比を変化させるファンクションジェネレータ、18は電流のリターン路である。また図3において、20は図1における放電電極2をラダー型電極で構成した場合の1つの電極を示したものの、21、22は高周波を放電電極2(20)に給電する給電用ケーブル、23はDCバイアス電源である。

【0040】このうち第1の高周波発振器14は、前記したように例えば60MHzの高周波を発振してこれを高周波電源A12、切り替えスイッチ16に送り、第2の高周波発振器15は例えば58.5MHzの高周波を発振して切り替えスイッチ16に送る。そしてこの切り替えスイッチ16は、第1の高周波発振器14から送られてきた60MHzと第2の高周波発振器15から送られてきた58.5MHzの高周波を一定サイクルで切り替え、高周波電源B13に送る。そのため高周波電源A12は、60MHzの高周波を第1の給電部3に給電し、高周波電源B13は、一定サイクルで切り替わる60MHzと58.5MHzの高周波を第2の給電部4に給電する。

【0041】そして、この切り替えスイッチ16による第1の高周波発振器14から送られてきた60MHzと第2の高周波発振器15から送られてきた58.5MHzの高周波の切り替えは、ガス圧やガス種などのガス条件に応じたファンクションジェネレータ17からの信号で、その時間割合、すなわちデューティ比を変化できるようになっている。また第1の高周波発振器14は、内部にフェーズシフターを有し、高周波電源A12、または切り替えスイッチ16のいずれかに送る高周波を、他方に送る高周波とは位相をずらせられるようにしてあり、更に第2の高周波発振器15は、その発振周波数を例えば58.5MHzから59.9MHz、あるいは60.1MHzから61.5MHzのように変動可能に構成してある。

【0042】一方プラズマ化学蒸着装置1の放電電極2は、図2に示したように例えばラダー型に構成され、第1の給電部3、第2の給電部4は、図のように放電電極2の両端部に黒丸で示した例えば8ポイントずつで構成する。そしてこの放電電極2の給電部3、または4へ高周波を給電する給電用ケーブルは、放電用ラダー型電極の1つを20として示した図3における21、22のように、出口の軸方向をラダー型電極20の第1と第2の給電部3、4を結ぶ方向(軸方向)と一致させて接続

し、またこの放電電極2(20)には、DCバイアス電源23からDCバイアスを印加してある。なお、以上の説明では放電電極2をラダー型とし、給電部3、4を8ポイントずつとして説明したが、本発明はラダー型電極に限らず平板型電極においても応用可能であり、また給電ポイントも8ポイントのみに限らず、4ポイント、16ポイントなど、必要に応じてポイント数を設定できる。

【0043】このように、放電電極2の給電部3、または4へ高周波を給電する給電用ケーブル21、22の出口軸方向を放電用ラダー型電極20の軸方向と一致させて接続すると、給電パワーがスムーズにラダー型電極20に入ってゆき、電流リターン距離が最小化されて給電部での電力ロスが低減し、プラズマ領域の拡大を図ることができる。なお、この給電用ケーブル21、22は同軸ケーブル、平行平板、平行線など、どのような形状のものでも良い。

【0044】また、この放電電極2にDCバイアス電源23からDCバイアスを印加すると放電電極2のシースキャパシタンスを減少させることができ、電圧分布が均一化の方向に向かって定在波波長を増加させ、プラズマ密度を平均化させることができる。シースキャパシタンスというのは、プラズマが生成される過程でラダー型電極20の周りにシースと呼ばれる電子の集まりができ、この電子の集まりで一種の絶縁を保ったような状態が生じて直流的な電流が流れず、あたかもコンデンサが電極の周りにあるような状態になることをいい、負のDCバイアスをかけてやると電子が拡散し、このシースキャパシタンスを減少させることができる。そのため定在波の波長間隔が大きくなり、プラズマの均一化を図ることができる。

【0045】このように構成した本発明のプラズマ化学蒸着装置1を用い、a-Si、微結晶シリコン、多結晶薄膜シリコン、窒化シリコンなどの半導体の製膜や、これらの製膜によってチェンバ内に堆積したa-SiのNF<sub>3</sub>ガスによるセルフクリーニングなどを行う場合、例えば製膜においては、200℃に設定した加熱支持手段6に基板7を取り付け、ガス導入管8からシラン(SiH<sub>4</sub>)ガスなどの反応ガス9をたとえば流速50sccmで導入し、排気管10に接続した真空ポンプ11の排気速度を調整することで、プラズマ化学蒸着装置1内の圧力をたとえば100mTorrに調節する。

【0046】そして、第1の高周波発振器14からは例えば60MHzの高周波を、第2の高周波発振器15からは例えば58.5MHzの高周波を、それぞれ高周波電源A12、切り替えスイッチ16に送る。そしてこの切り替えスイッチ16により、第1の高周波発振器14から送られてきた60MHzと第2の高周波発振器15から送られてきた58.5MHzの高周波を一定サイクルで切り替え、高周波電源B13に送る。すると高周波

電源A12は、60MHzの高周波を第1の給電部3に給電し、高周波電源B13は、一定サイクルで切り替わる60MHzと58.5MHzの高周波を第2の給電部4に給電する。

【0047】すると放電電極2と基板7との間にプラズマが発生し、ガス導入管8から導入されたシラン(SiH<sub>4</sub>)ガスなどの反応ガス9が分解し、基板7上にa-Siが製膜されてゆく。なお、前記したNF<sub>3</sub>ガスによるプラズマ化学蒸着装置1内のセルフクリーニングも全く同様であり、NF<sub>3</sub>ガスがプラズマによって分解してフッ素ラジカルになり、クリーニングが行われる。

【0048】そしてこのとき発生したプラズマは、第1と第2の給電部3、4に同じ60MHzの高周波が給電された時と、第1の給電部3に60MHzの高周波、第2の給電部4に58.5MHzという具合に異なる周波数の高周波が給電された時とでは、図4に示したようにその発生状況が異なる。すなわちこの図4に示したグラフは、前記したようにプラズマ化学蒸着装置1にシラン(SiH<sub>4</sub>)ガスなどの反応ガス9を導入し、放電電極2の第1と第2の給電部3、4に同じ周波数(60MHz)の高周波を給電した時間と、異なる周波数の高周波を給電(第1の給電部3に60MHz、第2の給電部4に58.5MHzを給電)した時間の比を0:10から9:1までの10種でプラズマの発生状況を調べたものである。

【0049】この図4において、横軸は第1の給電部3(0cm)からの距離を示し、右端(110cm)が第2の給電部4に相当する。縦軸はプラズマの電圧相対値で、この値が高いほどプラズマ密度が高くなる。図中aの線は、給電した周波数が異なる場合の時間を10とし、同一周波数を給電した場合の時間を0、すなわち給電した周波数が異なる場合のみのプラズマ発生状況を示し、bの線は同じく異なる周波数9に対して同じ周波数が1の場合で、以下同様にnの線は異なる周波数1に対して同じ周波数が9の場合である。

【0050】このグラフからわかるように、第1と第2の給電部3、4に異なる周波数を給電したaでは、放電電極2の両端部、すなわち給電部3、4付近で最もプラズマ密度が高く、中央部で最もプラズマ密度が低くなっている。それに対し、第1と第2の給電部3、4に同じ周波数を給電した割合が最も高いnでは、放電電極2の中央部で最もプラズマ密度が高く、中央部から両端の給電部3、4に近づくに従って低くなり、給電部3、4付近でまた多少高くなっている。そして、第1と第2の給電部3、4に異なる周波数を給電する時間と、同一周波数を給電する時間を5対5の同じとしたfでは、このaとnのプラズマ発生状況が足し合わされ、放電電極2の両端部でプラズマ密度が多少高くなっているが、中央部の広範囲で均一なプラズマ発生状況となっている。

【0051】すなわちこの図4のグラフは、60MHz

という高周波において放電電極2の両端の給電部3、4に同一周波数の高周波を給電した場合は中央部でプラズマ密度が高くなり、異なる周波数の高周波を給電した場合は中央部の密度が低くなることを示しており、これを適宜なサイクルで交互に行うことで、大面積においてプラズマ発生状況を均一化できる。なおこの給電部3、4に同一周波数と異なる周波数の高周波を交互に給電するサイクルは、1Hzから10MHzまではほぼ同一の効果が得られた。

【0052】そして本発明においては、さらに第2の高周波発振器15の発振周波数を、例えば58.5MHzから59.9MHz、あるいは60.1MHzから61.5MHzのように、時間的に変動させてやる。するとこの周波数の変動によってプラズマ発生状況を意図的に変えることができ、時間平均的にプラズマ密度をさらに平均化することができる。

【0053】また、第1の高周波発振器14に含まれるフェーズシフターにより、高周波電源A12、または切り替えスイッチ16のいずれかに送る高周波を、他方に送る高周波に対して位相をずらしてやる。すると、例えば図5に50の実線で示したように、位相がずれていない時に放電電極2の中央部でプラズマ密度が高くなる給電状態においては、位相をずらすことによって、プラズマ密度の高い位置を51、または52の破線、または一点鎖線で示したように左右にずらすことができる。そのため、時間平均で見るとさらに広範囲でプラズマ密度を均一化できる。

【0054】また、ガス圧やガス種などのガス条件が変化した場合は、ファンクションジェネレータ17から切り替えスイッチ16に信号を送り、切り替えスイッチ16に送られてくる第1の高周波発振器14からの高周波と、第2の高周波発振器15からの高周波の高周波電源B13へのそれぞれの送出時間比、すなわちデューティ比(Duty比)を図4に示したように変化させる。このようにすることで、放電電極2の第1と第2の給電部3、4における同一周波数の高周波が給電される時間と、異なった周波数の高周波が給電される時間の比(デューティ比)が変化し、それによって図4に示したようにプラズマの発生状況を種々変化させることができるようにしてある。

【0055】これは、ガス圧、ガス種などのガス条件によって同じデューティ比でもプラズマの発生状況が異なることに対処するためのもので、放電がおきやすいガス条件の場合、放電電極2の両端部3、4から給電した電力は放電電極2の中央部に達する前に放電してしまい、中央部での放電が少なくなる。そのため、図4におけるaのグラフのように放電電極2の中央部でプラズマ発生密度が低くなるから、この場合は、同一周波数の高周波を給電する時間を長くし、逆に中央部のプラズマ密度が高くなったときは同一周波数の高周波を給電する時間を



短くする。これによって、ガス圧、ガス種類などのガス条件が変化しても、中央部のプラズマ密度がコントロールでき、さらに均一化することが可能となる。

【0056】なお、以上説明してきた方法で製膜やセルフクリーニングを実施する際、製膜速度やセルフクリーニング速度等の条件を満たす範囲で、均一なプラズマを発生しやすい $N_2$ 、Ar、Kr、Xe等のガスを適正比（0.1～25%程度）注入してやると、さらに均一な製膜、及びセルフクリーニングが実現できる。

【0057】このように本発明においては、プラズマ化学蒸着装置における放電電極の両端部設けた給電部に同一周波数の高周波を給電するサイクルと、異なる周波数の高周波を給電するサイクルを交互に実施することで、時間平均でみたとき、プラズマの発生状況を大面積で均一とすることができ、さらに本発明においては、

1. 異なる周波数の発振周波数を、時間的に変動させる。
2. ガス圧やガス種などのガス条件に応じ、第1と第2の給電部へ同一周波数を給電する時間と、異なる周波数を給電する時間の比、すなわちデューティ比を変化させる。

3. 第1と第2の給電部へ同一周波数を給電する際、どちらかの給電部に給電する高周波の位相を他方の給電部に給電する高周波の位相とずらす。

4. 放電電極の給電部に、DCバイアス電圧を印加する。

5. 給電用ケーブルの出口における軸方向を、第1と第2の給電部を結ぶ方向（軸方向）と同一とする。

6. 製膜速度、セルフクリーニング速度等の条件を満たす範囲で均一なプラズマを発生しやすい $N_2$ 、Ar、Kr、Xe等の不活性ガスを適正比注入する。

等のことを実施することで、例えば電極サイズ1.5m×1.2m、ガス圧12～20Pa（90～150mTorr）、高周波電源周波数60MHz級のプラズマ化学蒸着装置による製膜やセルフクリーニングを可能としたものである。

【0058】

【発明の効果】以上記載の如く本発明によるプラズマ化学蒸着装置によれば、圧力条件、流量条件などのガス条件が変わった場合でもハードをさわることなく、高周波電源周波数の変動、デューティ比の変更、位相の変調、DCバイアスの印加など、ソフト的な調整だけで常に均一なプラズマが得られ、高速で均一な製膜、均一なセルフクリーニングを行うことが可能となる。そのため、大面積製膜における製膜製品の歩留まりの向上、コスト低

減という大きな成果を得ることができ、さらに、ハード調整が少ないから初期調整が容易となってランニングコストも低減できるなど、大きな効果をもたらすものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明になるプラズマ化学蒸着装置における高周波プラズマの大面積均一化装置の一実施例概略ブロック図である。

【図2】 放電電極をラダー型で構成した場合を説明するための図である。

【図3】 本発明における放電電極と給電用ケーブルの接続構成を説明する図である。

【図4】 放電電極の給電部に、同一周波数の高周波と異なる周波数の高周波を高周波を0：10から9：1までの10種の比率で給電したときのプラズマ発生状況の説明図である。

【図5】 給電部へ同一周波数を給電する際、一方の高周波の位相を他方の位相とずらせた場合の説明図である。

【図6】 従来の平行平板型電極を用いたプラズマ化学蒸着装置の一構成例である。

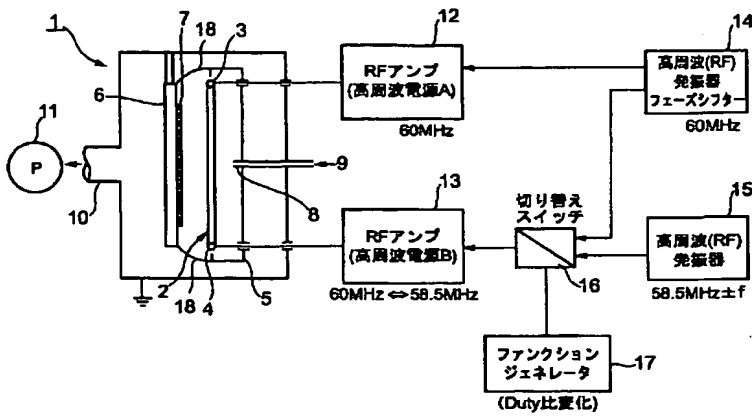
【図7】 従来のラダー型電極を用いたプラズマ化学蒸着装置の一構成例である。

【図8】 従来のラダー型電極の構造を説明するための図である。

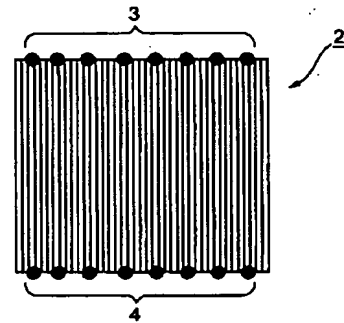
【符号の説明】

- 1 プラズマ化学蒸着装置
- 2 放電電極
- 3 第1の給電部
- 4 第2の給電部
- 5 アースシールド
- 6 加熱支持手段
- 7 基板
- 8 ガス導入管
- 9 反応ガス
- 10 排気管
- 11 真空ポンプ
- 12 高周波電源A
- 13 高周波電源B
- 14 第1の高周波発振器
- 15 第2の高周波発振器
- 16 切り替えスイッチ
- 17 ファンクションジェネレータ
- 18 電流のリターン路

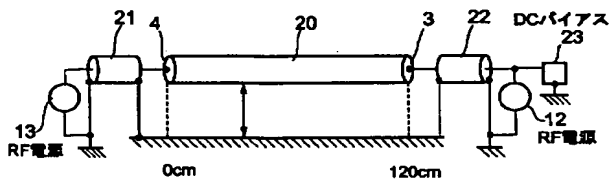
【図1】



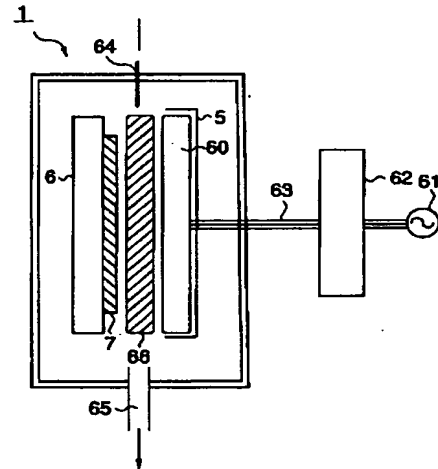
【図2】



【図3】

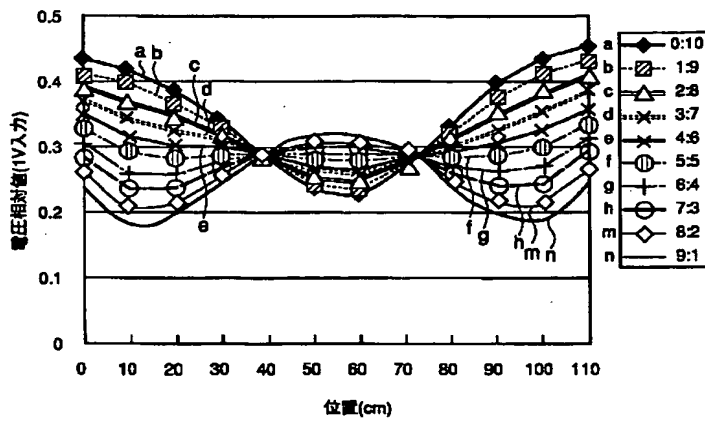


【図6】

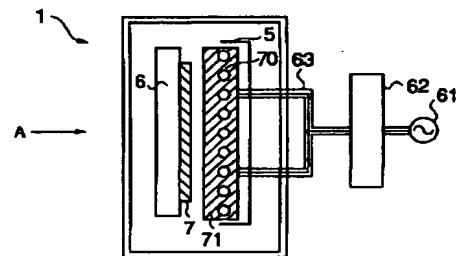


【図4】

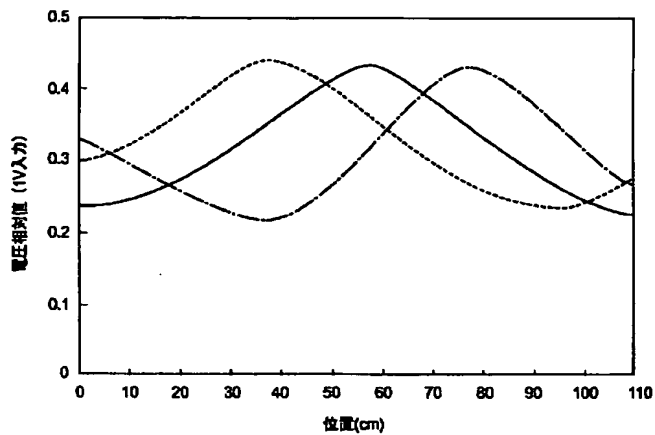
2周波-周波数変動法検討(印加時間比)  
60MHz-60MHz : 60MHz-58.5MHz



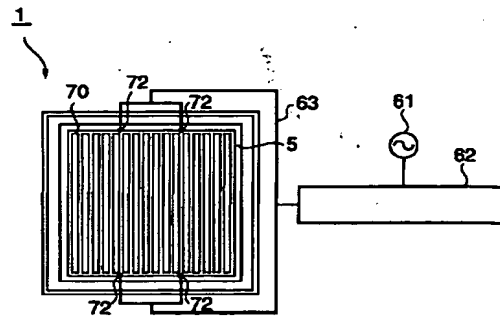
【図7】



【図5】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 真島 浩  
長崎市深堀町五丁目717番1号 三菱重工業株式会社長崎研究所内

(72)発明者 高塚 汎  
長崎市飽の浦町1番1号 三菱重工業株式会社長崎造船所内

(72)発明者 山内 康弘  
長崎市飽の浦町1番1号 三菱重工業株式会社長崎造船所内

(72)発明者 竹内 良昭  
長崎市深堀町五丁目717番1号 三菱重工業株式会社長崎研究所内

(72)発明者 笹川 英四郎  
長崎市飽の浦町1番1号 三菱重工業株式会社長崎造船所内

F ターム(参考) 4K030 AA16 AA18 BA29 BA30 BB03  
BB04 FA03 JA12 JA18 JA19  
KA20 LA16  
5F045 AB04 AC01 AD06 BB02 DP01  
DP09 EB02 EH01 EH02 EH13  
EH20  
5F051 AA05 BA12 CA16 CA21 CA23